

# Simulación de Sistemas

---

Clase Teórica 6:  
Dinámica Peatonal I



# Dinámica Peatonal

## Regímenes

- Condiciones Normales  
o Cooperativas.

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.



# Dinámica Peatonal

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.



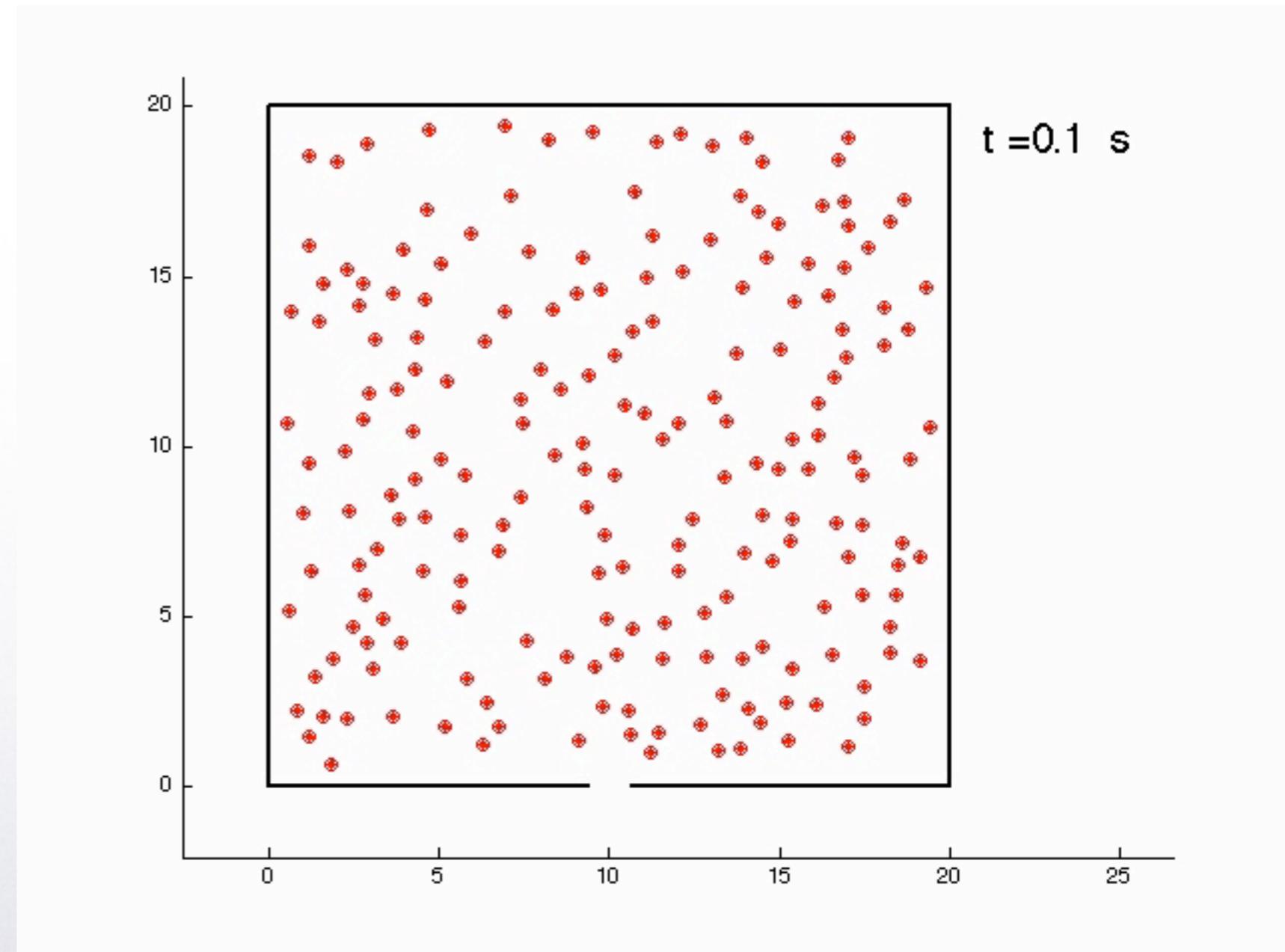
# Dinámica Peatonal

Evacuación de un recinto

Simulaciones  
Microscópicas

(sin validación  
experimental)

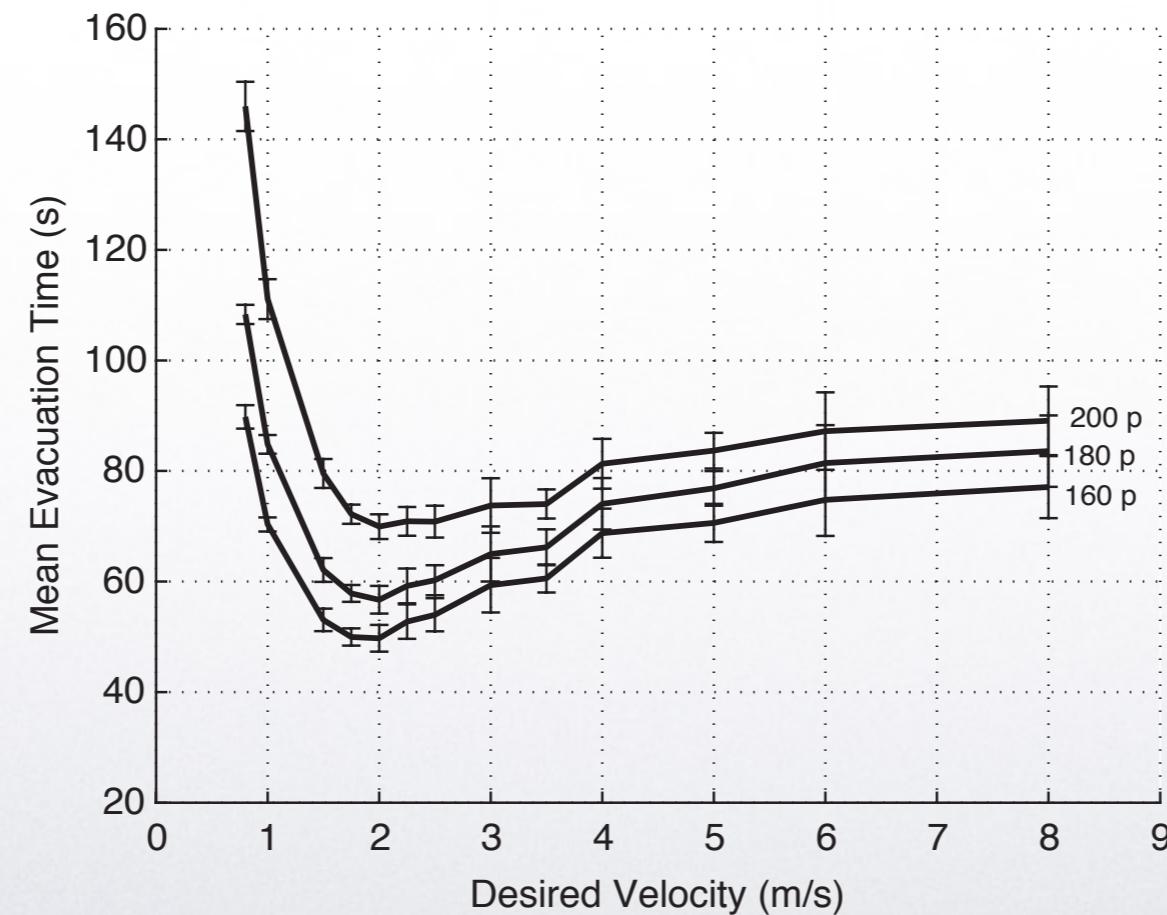
- Condiciones  
Competitivas o de Stress.





# Dinámica Peatonal

El SFM predice cualitativamente el efecto  
“Faster is Slower” (FIS)





# Dinámica Peatonal

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.

Experimentos para  
investigar sistemas  
similares



# Dinámica Peatonal

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.

Sistemas Similares

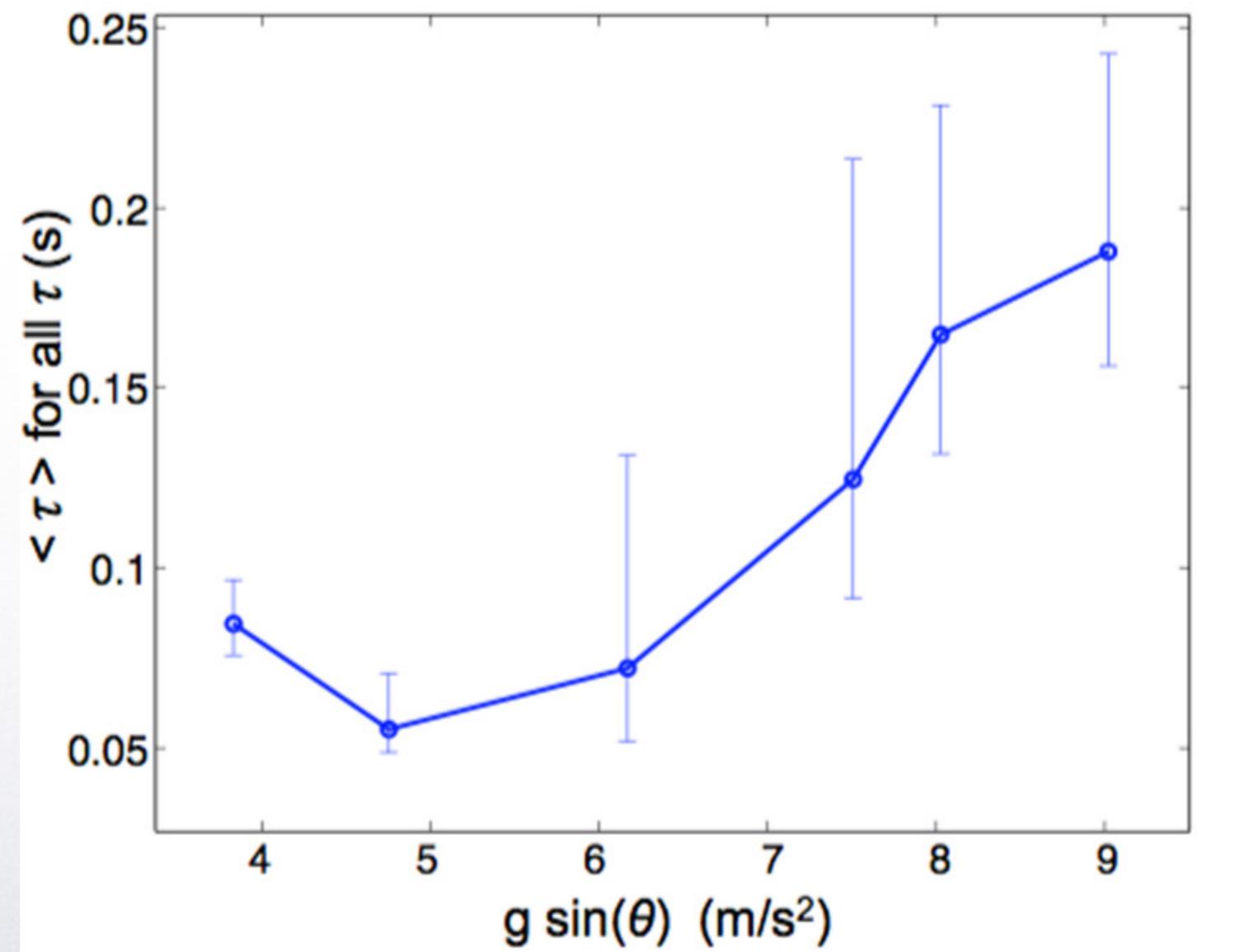
## MATERIAL GRANULAR

Silo 2D sobre plano inclinado





# FIS en Flujos Granulares





# Dinámica Peatonal

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.

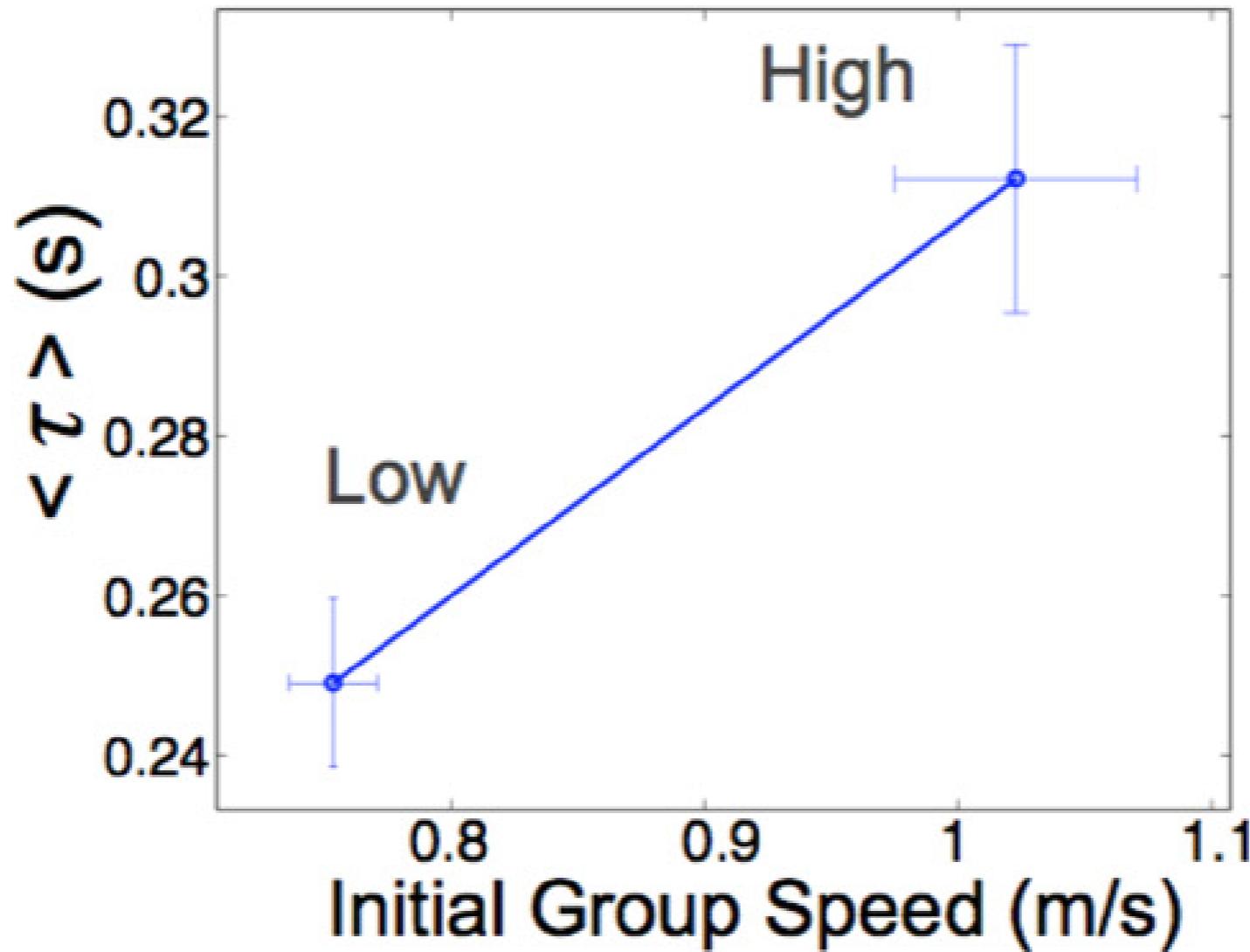
Sistemas Similares

OVEJAS apuradas !!





# FIS en Ovejas





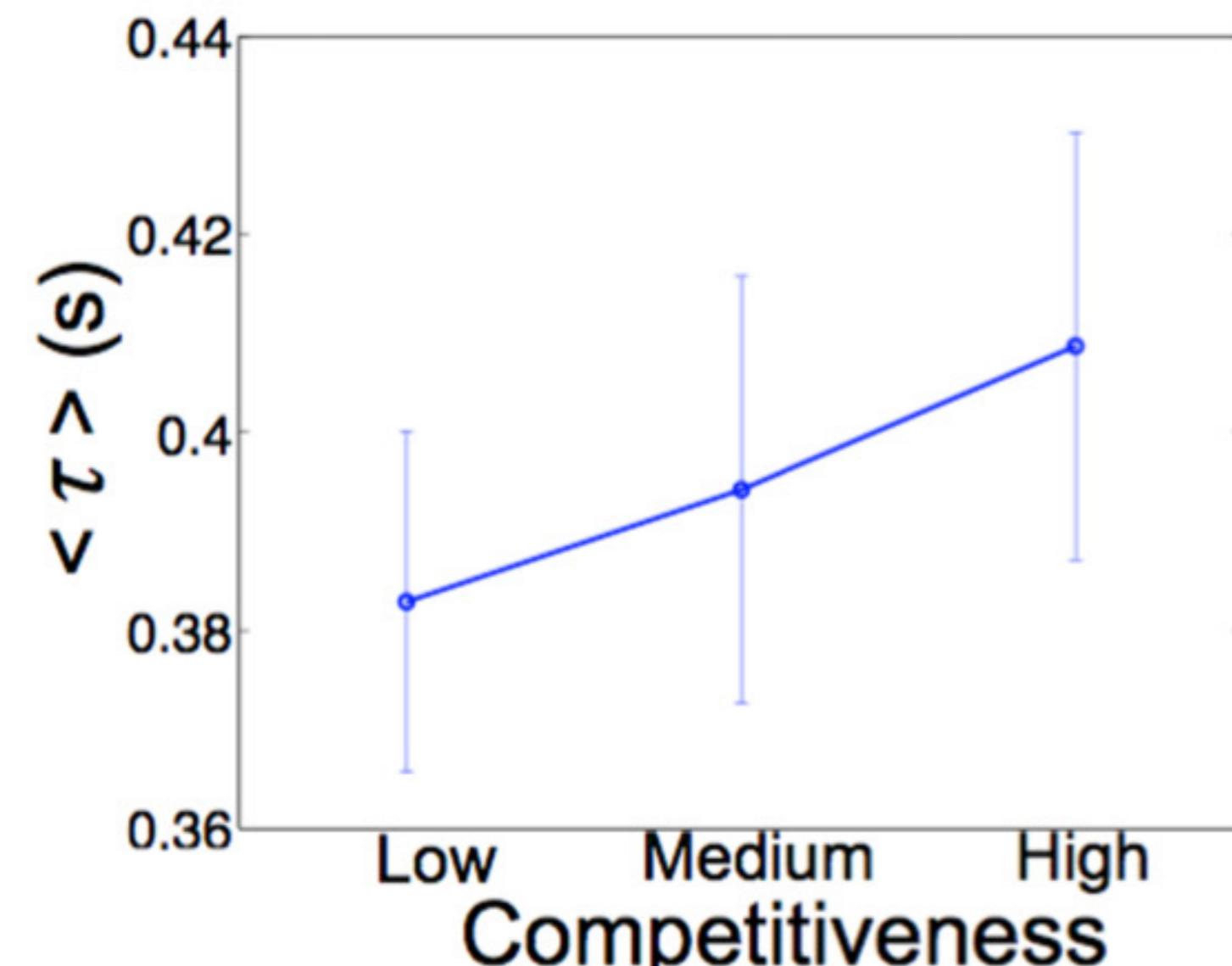
# Dinámica Peatonal

Experimentos para  
investigar sistemas  
similares

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.

HUMANOS !

# Dinámica Peatonal





# Dinámica Peatonal

## Regímenes

- Condiciones Normales  
o Cooperativas.

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.



# Dinámica Peatonal

- Condiciones Normales  
o Cooperativas.



# Dinámica Peatonal

Experimentos para  
investigar sistemas

- Condiciones Normales  
o Cooperativas.

Mecanismos de  
Navegación



# Dinámica Peatonal

Experimentos para investigar sistemas

Mecanismos de Navegación

- Condiciones Normales o Cooperativas.





# Dinámica Peatonal

Experimentos para investigar sistemas

Mecanismos de Navegación

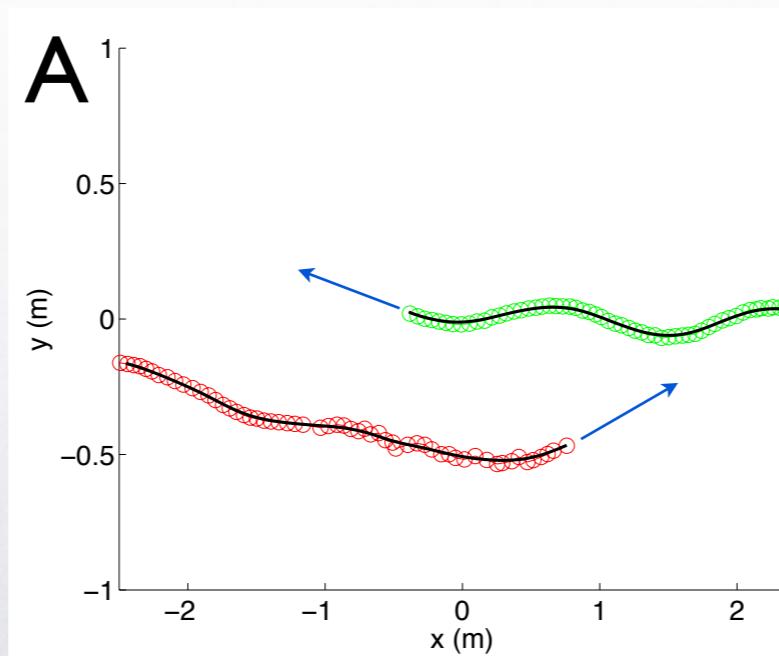
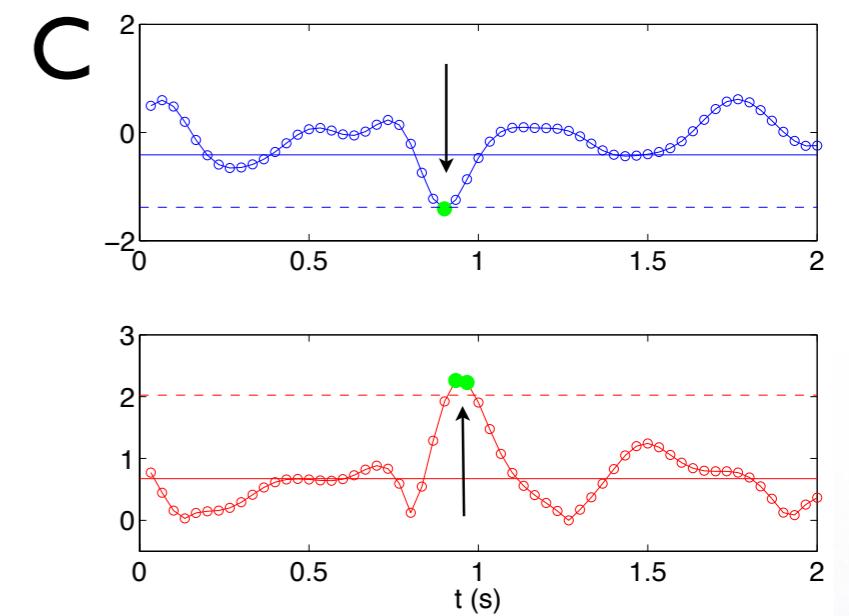
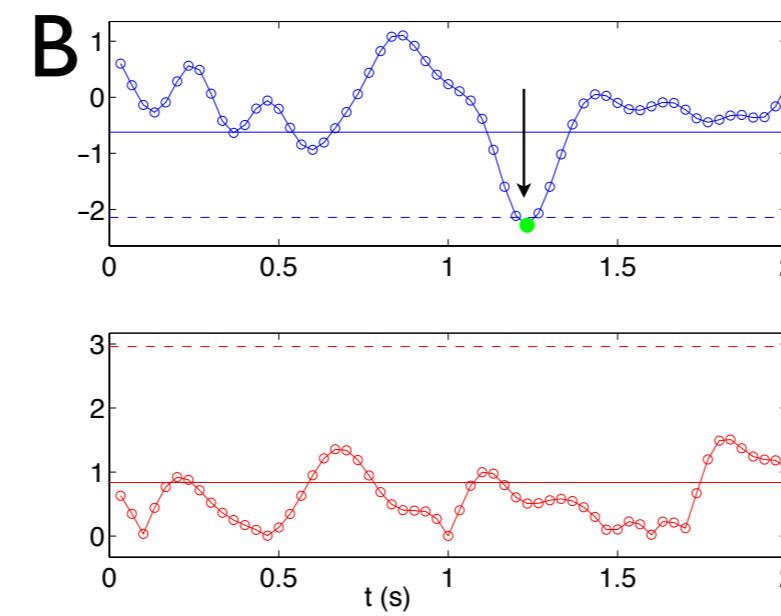
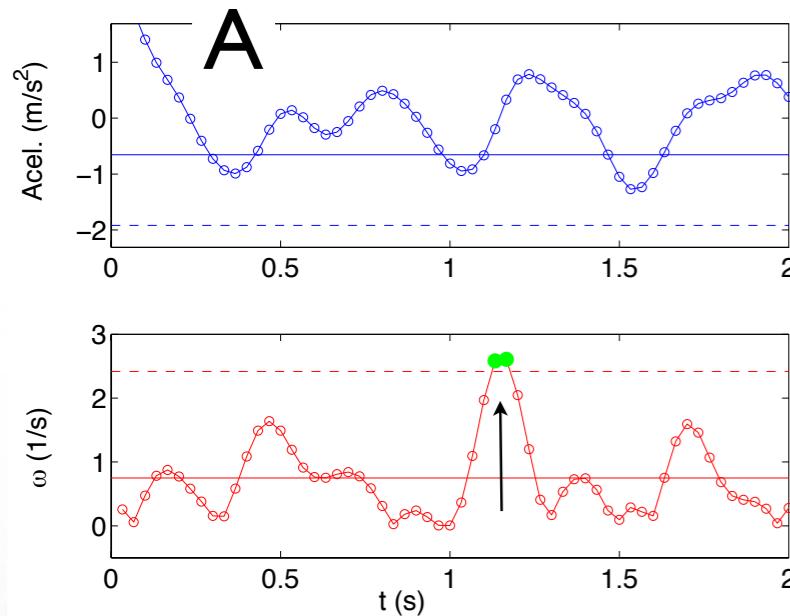
- Condiciones Normales o Cooperativas.





# Dinámica Peatonal

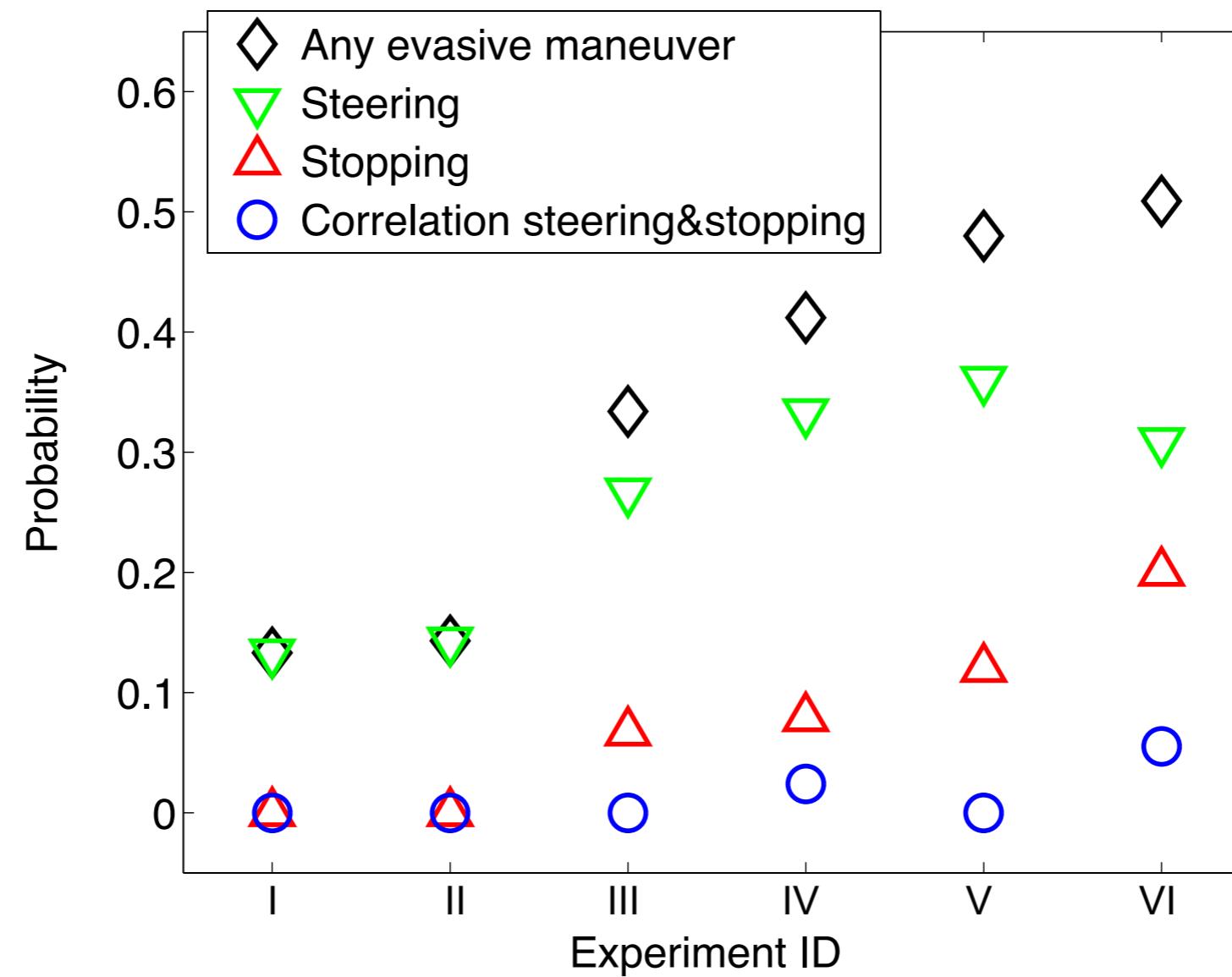
- Condiciones Normales  
o Cooperativas.





# Dinámica Peatonal

- Condiciones Normales  
o Cooperativas.



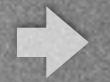


# Dinámica Peatonal

Experimentos para  
investigar sistemas

- Condiciones Normales  
o Cooperativas.

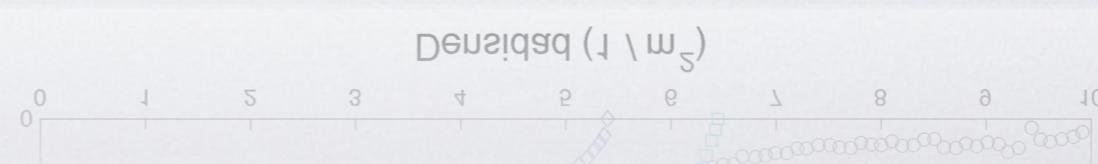
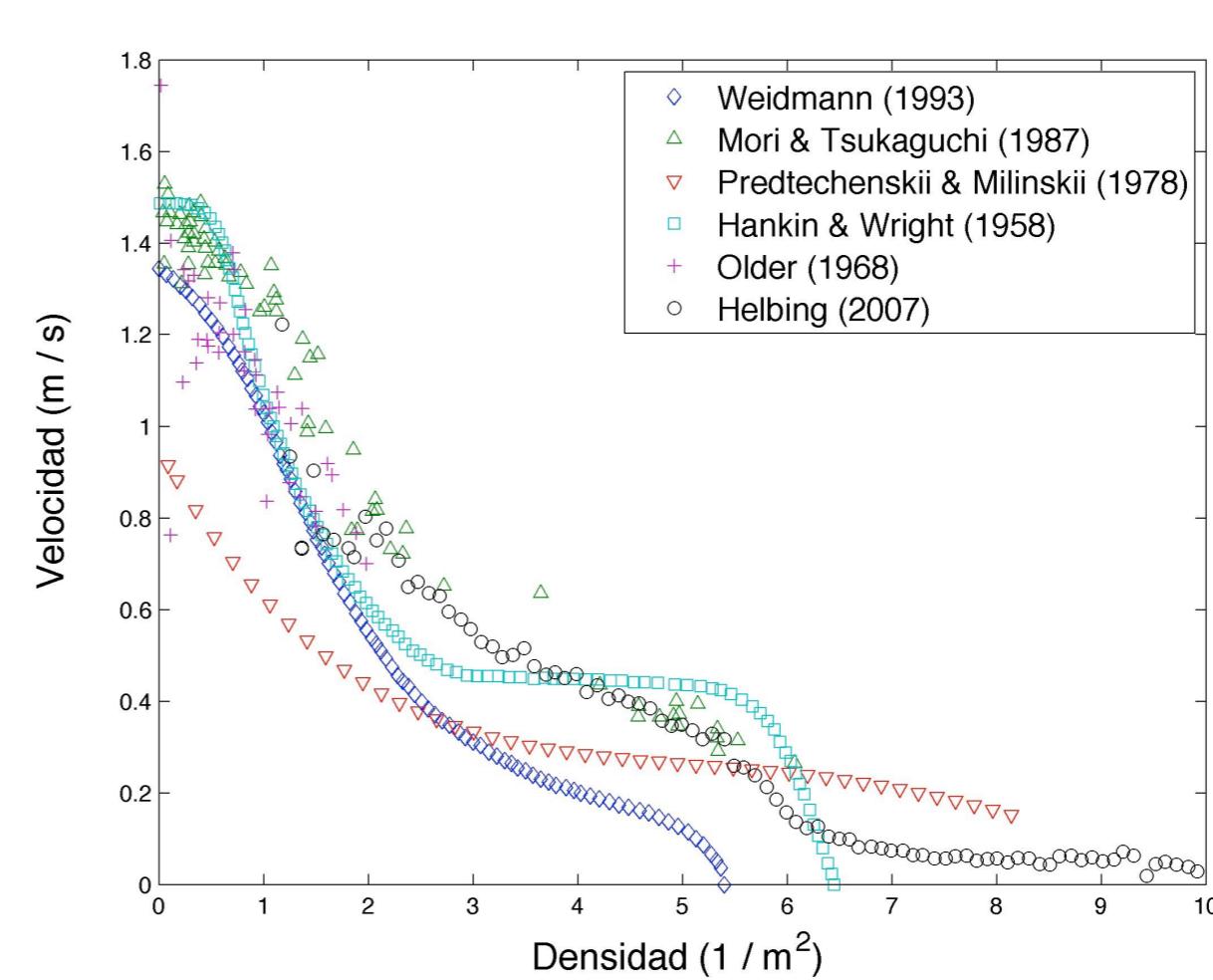
Relación  
Densidad - velocidad



# Dinámica Peatonal

Observable 1

Diagrama Fundamental



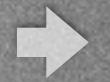


# Dinámica Peatonal

Principales Observables  
en Dinámica Peatonal

Diagrama Fundamental : Densidad versus velocidad

Caudal Específico = Peatones / ( tiempo \* ancho puerta)



# Dinámica Peatonal

Observable 2

Caudal Específico

- Regulaciones adoptan un caudal específico 1.33 p/m/s
- Datos Experimentales: 1.25 a 2.0 p/m/s
- Para condiciones normales se asume caudal de salida proporcional al ancho de salida.



# Dinámica Peatonal

## Caudal Específico

CAUDAL ESPECÍFICO (pers./m/s)	FUENTE
1.33	Department of The Environment and The Welsh Office, The Building Regulations-Approved Document B -Section B1,1992. HMSO, London, 1991, pp. 9 – 40.
1.37	J. Fruin, Pedestrian Planning and Design. The Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, 1971.
1.82	The Green Guide "Guide to Safety at Sports Grounds". HSMO, London, 1991.
1.48 – 1.92	B. D. Hankin and R. A. Wrigth, Passenger flow in subways, Operational Res. Quart. 9 (1958) 81-8.
1.25 – 1.4	D. Rasbash, G. Ramachandran, B. Kandola, J. Watts and M. Law, Evaluation of Fire Safety, Wiley (2004).
1.77	S. P. Hoogendoorn and W. Daamen, Pedestrian Behavior at Bottlenecks, Transportation Science. Vol. 39, No 2 pp 147-155 (2005).
1.33	IMO Correspondence Group, "Interim guidelines for evacuation analyses for new and existing passenger ships" Technical Report MSC/Circ.1033 International Maritime Organization (IMO) (2002).
1.9	T. Kretz, A. Grünebohm and M. Schreckenberg, Experimental study of pedestrian flow through a bottleneck, Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, (2006) P10014
1.97	A. Seyfried, T. Rupprecht, O. Passon, B. Steffen, W. Klingsch and M. Boltes, New insights into pedestrian flow through bottlenecks, arXiv: physics/ 0702004v2 [physics. soc- ph] 3 Dec 2007



# Dinámica Peatonal

## Modelos Microscópicos



# Dinámica Peatonal

## Modelos Microscópicos

### **- Continuos / Basados en Fuerzas**

- \* Partículas Newtonianas.
- \* Posición y Velocidad en el Continuo.

### **- Discretos / Basados en Reglas:**

- \* Espacio Discretizado en una Grilla.
- \* Transición de estados basadas en Reglas.
- \* Autómatas Celulares.



# Dinámica Peatonal

## Modelos Microscópicos

- Social Force Model (Basado en Fuerzas).
- Bionics-Inspired CA Model (Autómata Celular)
- Contractil Particle Model (Híbrido)



# Modelos Microscópicos

Social Force Model



# Modelos Microscópicos

## Social Force Model

(Helbing, Dirk, Illés Farkas, and Tamas Vicsek. "Simulating dynamical features of escape panic." Nature 407, no. 6803 (2000): 487-490)

- Ecuación de Newton para cada Peatón “  $i$  ”:

$$m_i \ddot{\mathbf{r}}_i = \mathbf{F}_{GRANULAR} + \mathbf{F}_{SOCIAL} + \mathbf{F}_{DESEO}$$

- Sistema de  $N$  ecuaciones diferenciales acopladas.
- Métodos de Dinámica Molecular.

# Modelos Microscópicos

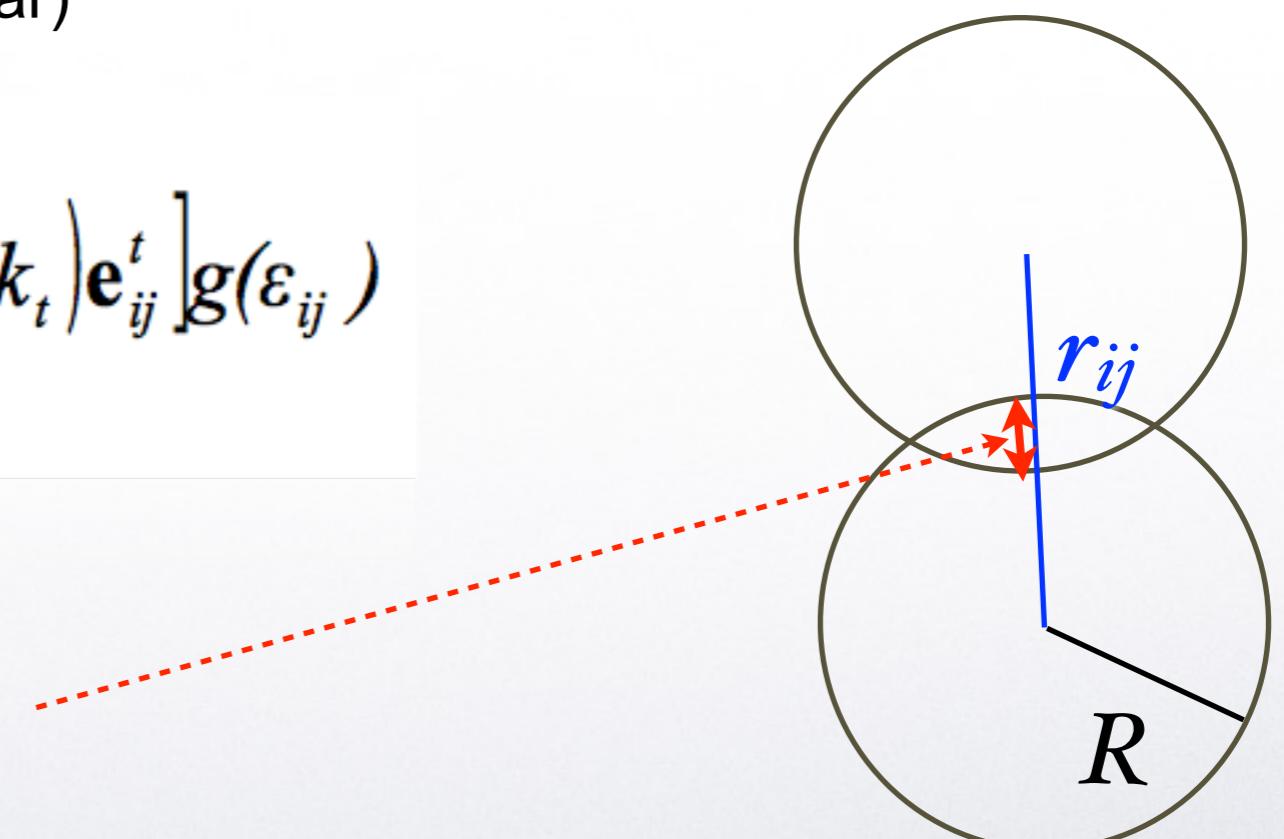
## Social Force Model

Fuerza de Contacto (Granular)

$$\mathbf{F}_{Gi} = \sum_{j=1, j \neq i}^{N_p} \left[ (-\varepsilon_{ij} k_n) \mathbf{e}_{ij}^n + (v_{ij}^t \varepsilon_{ij} k_t) \mathbf{e}_{ij}^t \right] g(\varepsilon_{ij})$$

Y = I<sup>2</sup>Y<sub>2</sub> Y<sub>1</sub>

$$\varepsilon_{ij} = r_{ij} - (R_i + R_j)$$

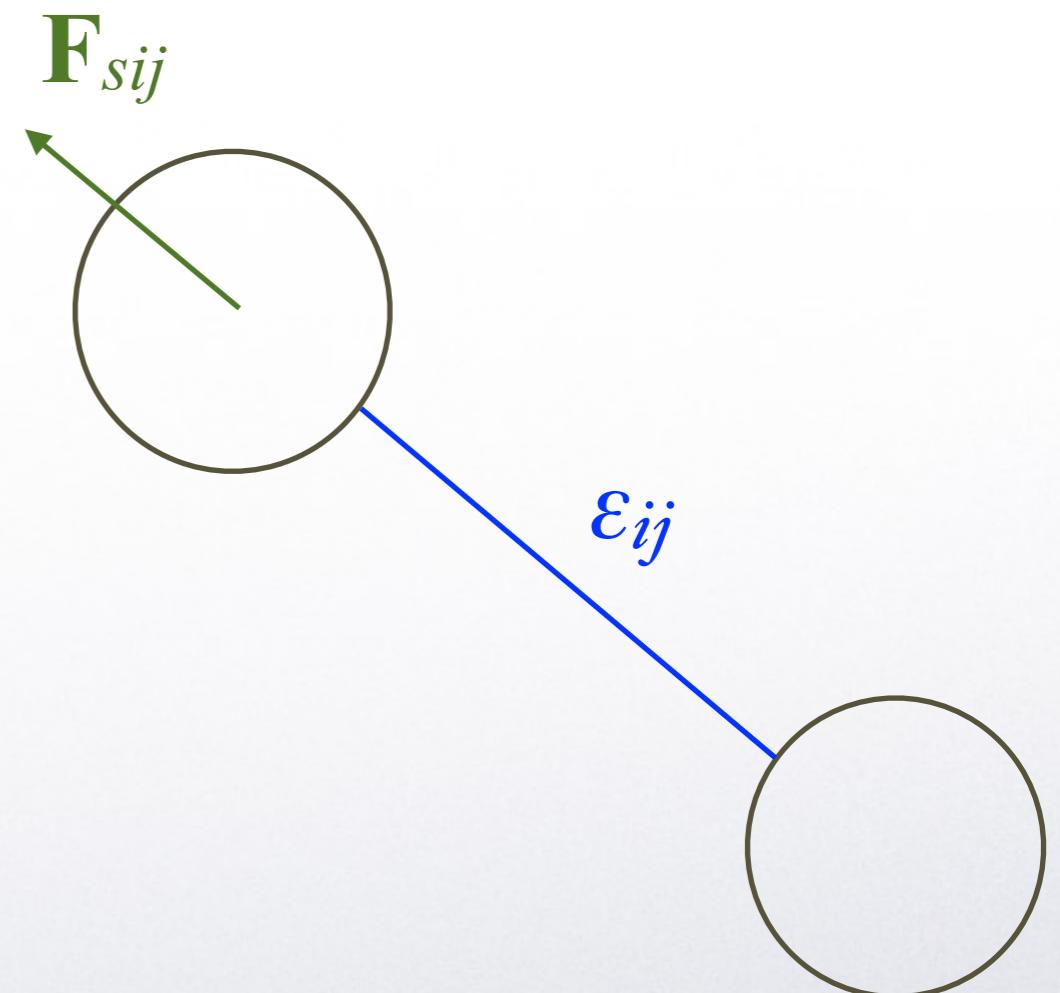


# Modelos Microscópicos

## Social Force Model

Fuerza Social

$$\mathbf{F}_{Si} = \sum_{j=1, j \neq i}^{N_p} A \exp\left(-\frac{\varepsilon_{ij}}{B}\right) \mathbf{e}_{ij}^n$$

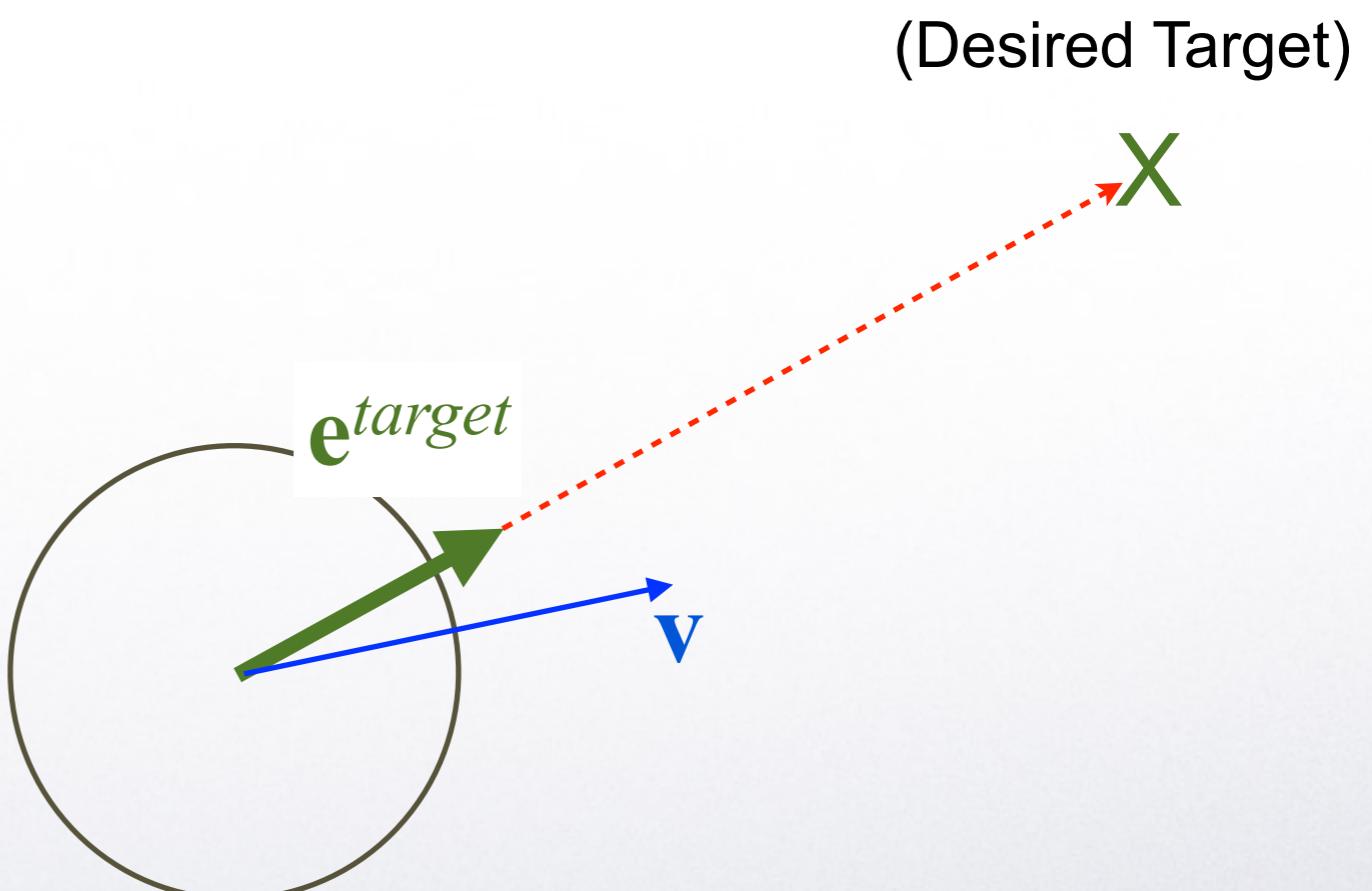


# Modelos Microscópicos

## Social Force Model

Fuerza del deseo (driving force)

$$\mathbf{F}_{Di} = m_i \frac{(v_{di} \mathbf{e}_i^{target} - \mathbf{v}_i)}{\tau_i}$$

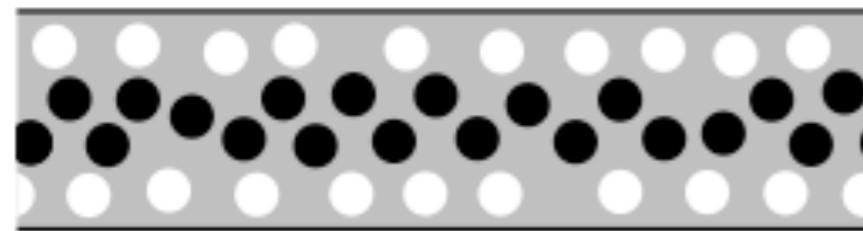


# Modelos Microscópicos

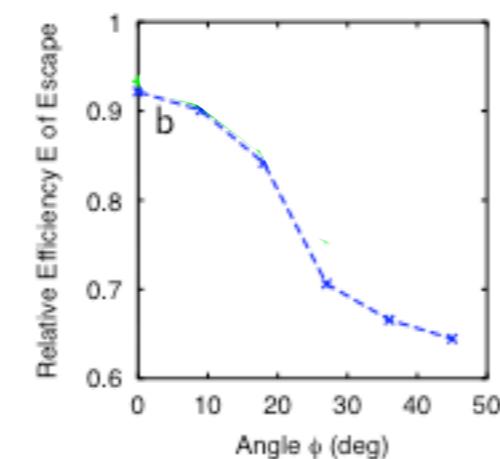
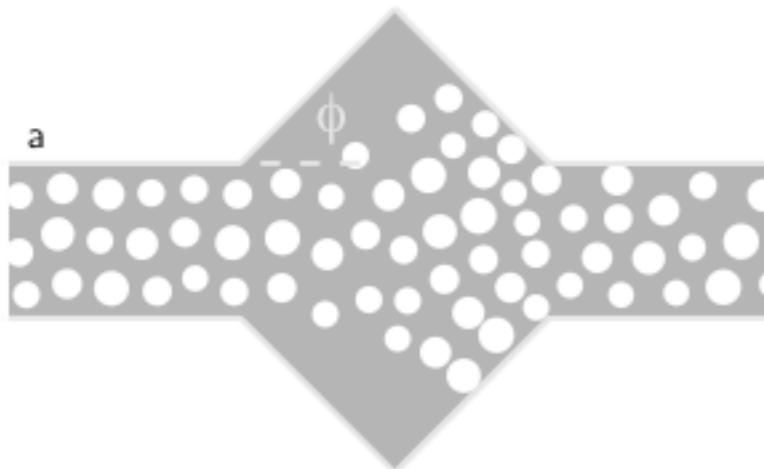
## Social Force Model

Fenómenos que el SFM reproduce cualitativamente

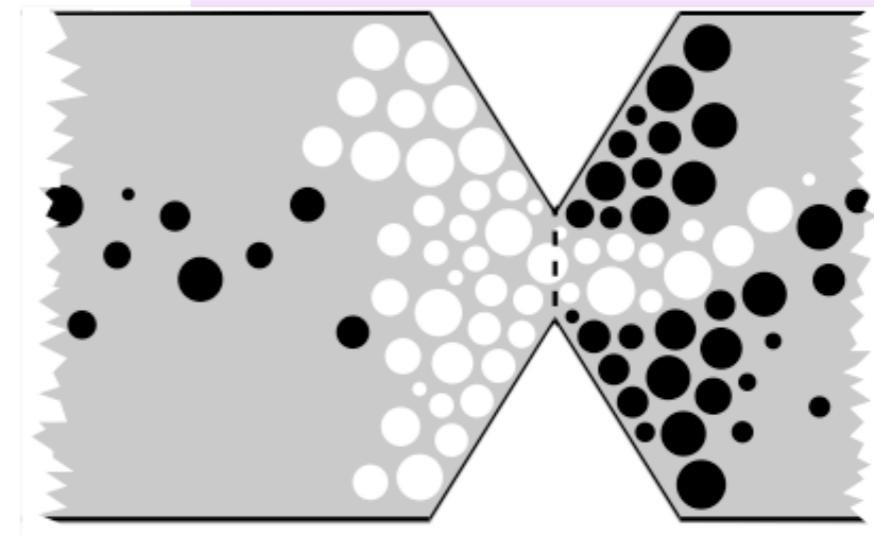
*Formación de Carriles*

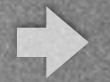


*Ineficiencia  
Ampliaciones*



*Oscilación en Cuellos  
de Botella*





# Modelos Microscópicos

## Social Force Model

### Evacuación de un recinto

Nro. de Peatones: 200

Habitación de 20 m x 20 m

Diámetro de peatones : 0,50 - 0,58 m

Ancho Puerta : 1,2 m

**Variando la Velocidad Deseada:** entre 0,8 y 6 m/s

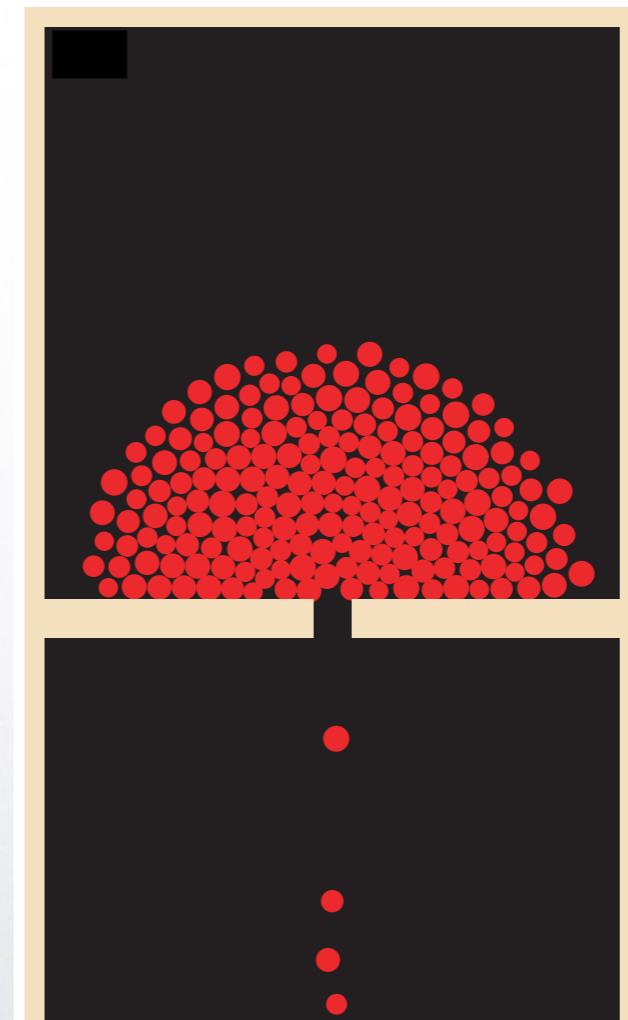
Parámetros del Modelo:

A=2000 N ; B =0,08m ;

$kn = 1,2 \cdot 10^5$  N/m ;  $kt = 2,4 \cdot 10^5$  kg/m/s

$\tau = 0,5$  s

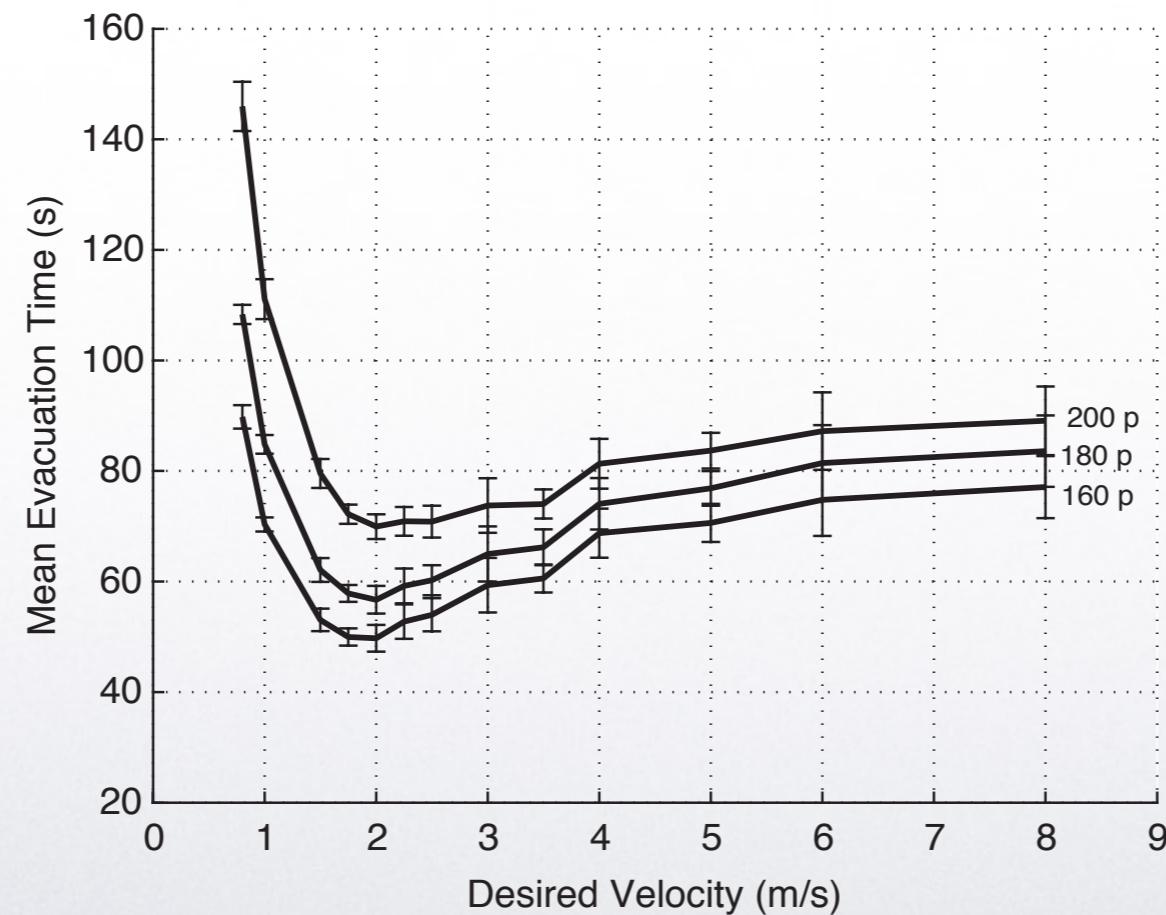
El SFM predice cualitativamente el efecto  
“Faster is Slower”

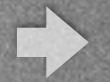


# Modelos Microscópicos

## Social Force Model

El SFM predice cualitativamente el efecto  
“Faster is Slower”





# Modelos Microscópicos

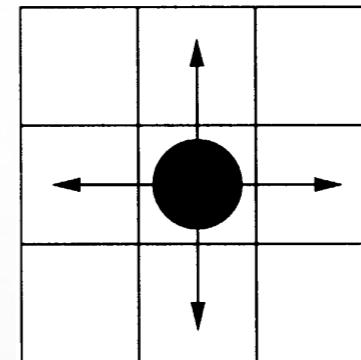
“Bionics-Inspired” Autómata Celular

# Modelos Microscópicos

## “Bionics-Inspired” Autómata Celular

(Kirchner, Ansgar, and Andreas Schadschneider. "Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics." *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 312, no. 1 (2002): 260-276)

- El espacio está discretizado en celdas.
- Cada celda puede estar vacía u ocupada por un único peatón.
- En cada paso de tiempo, cada peatón puede moverse a una celda desocupada con una cierta probabilidad.



0	$p_{-1,0}$	0
$p_{0,-1}$	$p_{0,0}$	$p_{0,1}$
0	$p_{1,0}$	0

Movimientos permitidos y las probabilidades correspondientes.



# Modelos Microscópicos

## “Bionics-Inspired” Autómata Celular

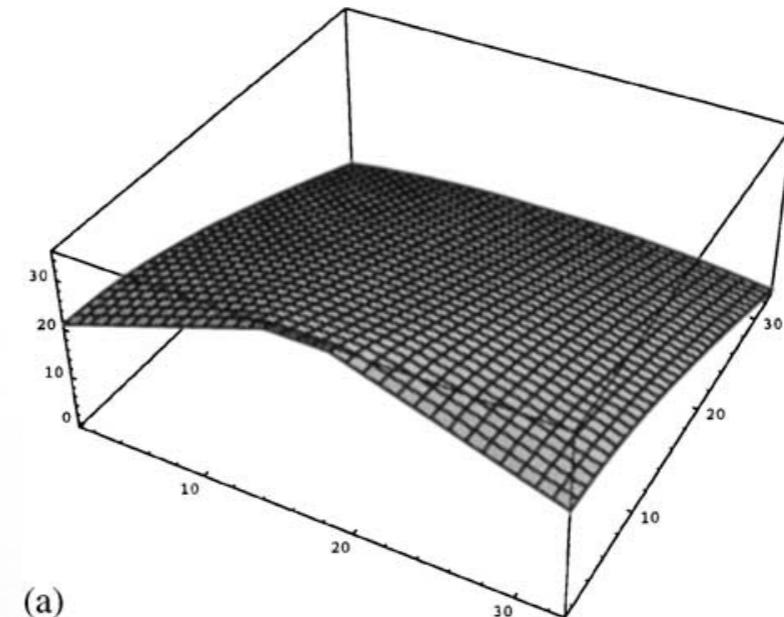
Las probabilidades de transición están dadas por la interacción con dos campos (floor fields):

- Campo estático ( $S$ )
- Campo Dinámico ( $D$ )

# Modelos Microscópicos

## “Bionics-Inspired” Autómata Celular

### Campo estático ( $S$ )

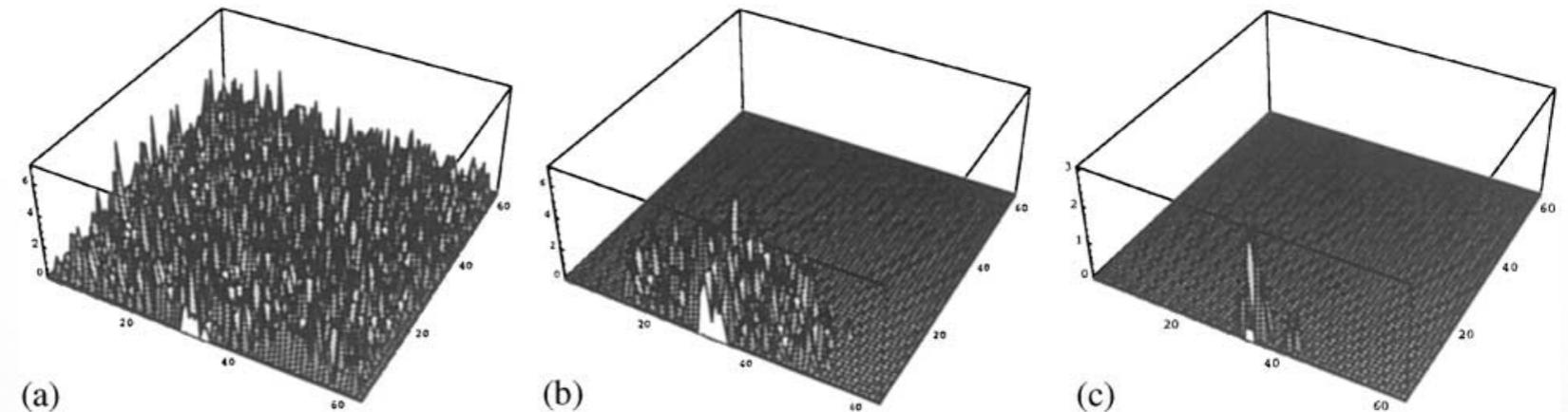


- Considera solo la geometría y, por lo tanto, está fijo durante la simulación.
- Aumenta en el sentido de la menor distancia a la puerta desde cada sitio.  
(ver apéndice Kirchner et al. 2002)

# Modelos Microscópicos

## “Bionics-Inspired” Autómata Celular

Campo dinámico ( $D$ )

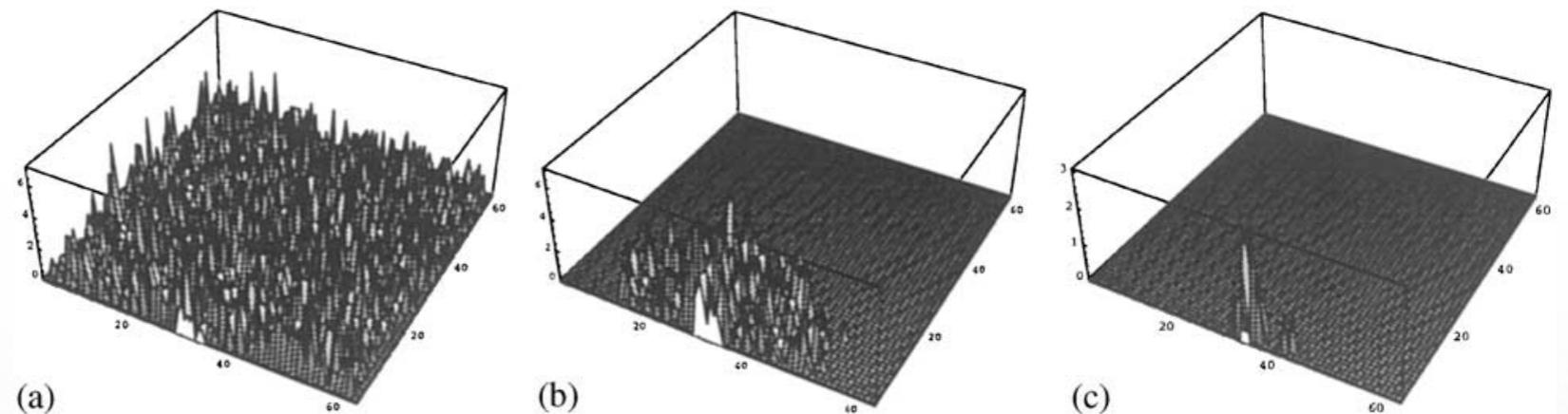


- Se modifica por la presencia de peatones.
- Representa un rastro virtual dejado por peatones que pasaron antes.
- El campo dinámico tiene su propia dinámica de difusión y decaimiento.

# Modelos Microscópicos

## “Bionics-Inspired” Autómata Celular

Campo dinámico ( $D$ )  
Difusión y Decaimiento



- A  $t = 0$  el campo es cero:  $D_{ij} = 0$ .
- Si una partícula pasa del sitio  $(i,j)$  a uno vecino,  $D_{ij} \rightarrow D_{ij} + 1$ .
- En cada paso, el campo dinámico  $D$  decae con una probabilidad  $\delta \in [0,1]$  y difunde con probabilidad  $\alpha \in [0,1]$  hacia una de sus celdas vecinas.  $D = D ( t, \delta, \alpha )$ .



# Modelos Microscópicos

“Bionics-Inspired” Autómata Celular

## Reglas de actualización del autómata

- (1) El campo dinámico  $D$  es modificado de acuerdo a las reglas de decaimiento y difusión.
- (2) Para cada peatón la probabilidad de  $p_{ij}$  para moverse a una celda desocupada  $(i,j)$  es:

$$p_{ij} = N \exp(k_D D_{ij}) \exp(k_S S_{ij})(1 - n_{ij}) \xi_{ij},$$

donde

$k_S \in [0, \infty[$  and  $k_D \in [0, \infty[$  Son parámetros de sensibilidad que actúan como peso de los campos

$n_{ij} = 0, 1$  Ocupación

$$\xi_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{Celdas prohibidas. Ej.: paredes.} \\ 1 & \text{Celdas permitidas} \end{cases} \quad \text{Obstáculos}$$



# Modelos Microscópicos

“Bionics-Inspired” Autómata Celular

## Reglas de actualización del autómata

donde (continuación)

Normalización

$$N = \left[ \sum_{(i,j)} \exp(k_D D_{ij}) \exp(k_S S_{ij}) (1 - n_{ij}) \xi_{ij} \right]^{-1}.$$

- (3) Cada peatón elige una celda a la cual **intentar** moverse de acuerdo a las probabilidades ( $p_{ij}$ ).
- (4) Si hay conflicto (dos peatones eligieron la misma celda), se resuelve probabilísticamente. El peatón elegido ejecuta el movimiento.
- (5) Se incrementa  $D$  según los movimientos de los peatones.

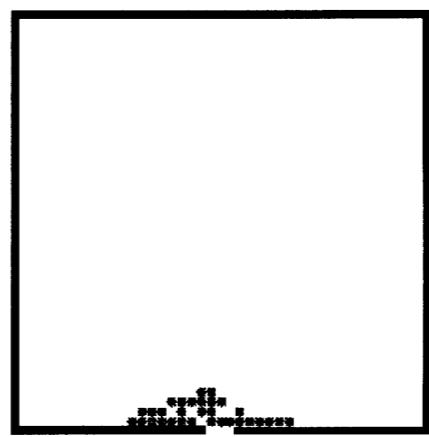
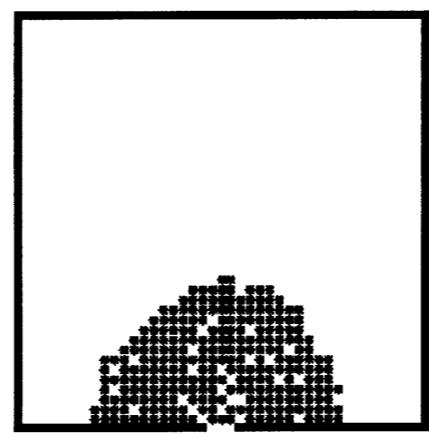
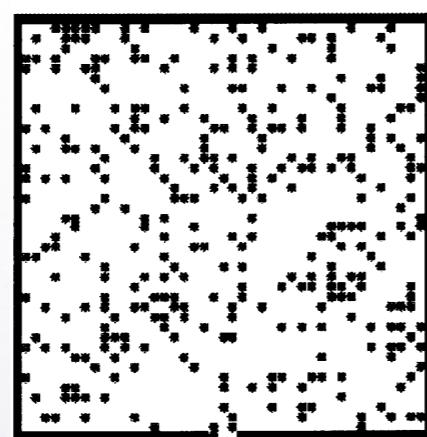
Estas reglas se aplican a todos los peatones en el mismo paso temporal, es decir se ejecutan en forma sincronizada.



# Modelos Microscópicos

“Bionics-Inspired” Autómata Celular

Típico proceso de evacuación de un recinto





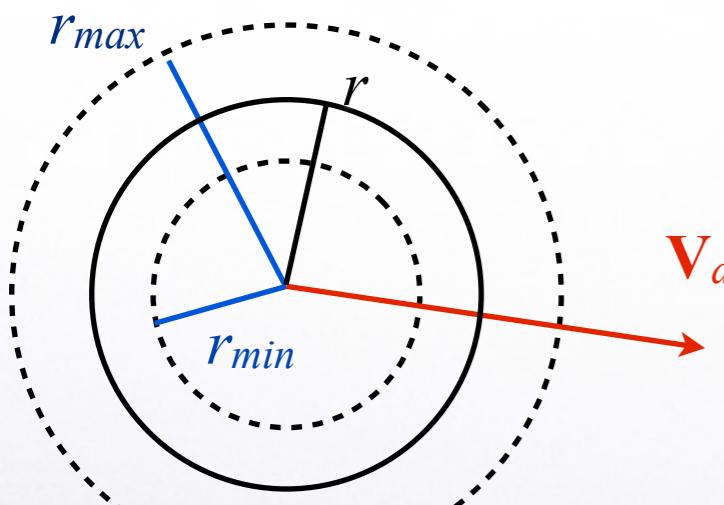
# Modelos Microscópicos

Contractile Particle Model

# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

(Baglietto, Gabriel, and Daniel R. Parisi. "Continuous-space automaton model for pedestrian dynamics." *Physical Review E* 83, no. 5 (2011): 056117.)



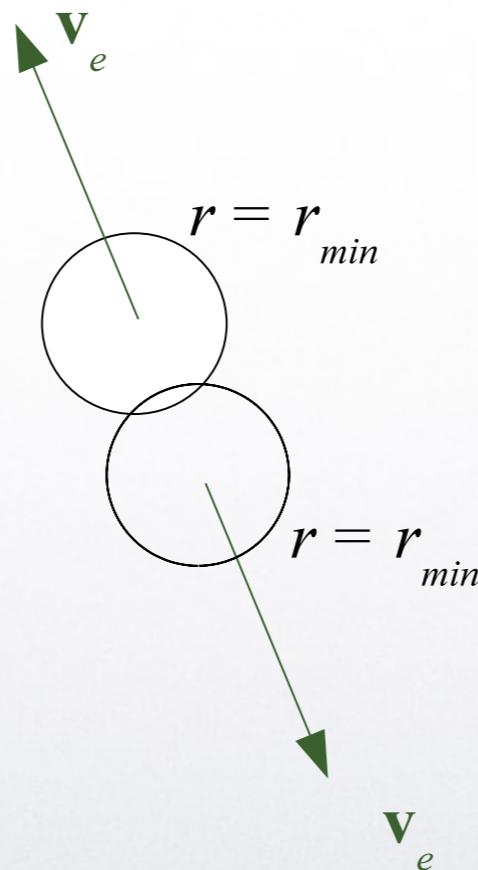
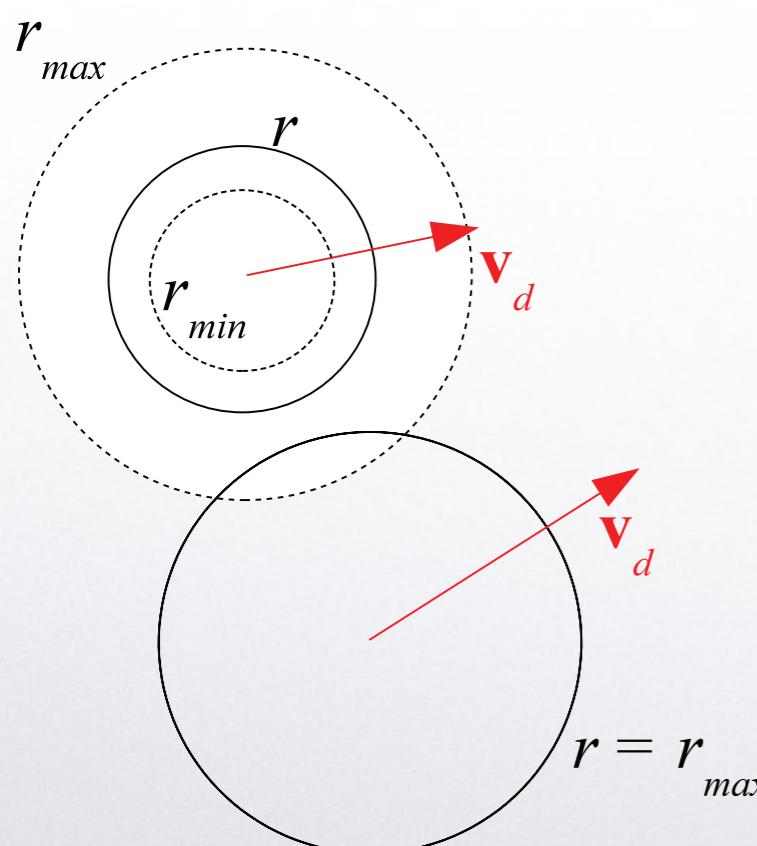
- Las partículas tienen un radio variable ( $R$ ) que representa el espacio personal necesario para desplazarse o la máxima compresión corporal.
- El modulo de la velocidad deseada es función de este radio ( $R$ ):

$$|\mathbf{v}_d| = f(r) \quad tq \quad \left\{ \begin{array}{l} v_d(r_{min}) = 0 \\ v_d(r_{max}) = v_{d \max} \end{array} \right.$$



# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model



Si dos partículas entran en contacto:

- Aparece Velocidad de escape ( $v_e$ ).
- El radio colapsa al mínimo.



# Modelos Microscópicos

Contractile Particle Model

Evolución Temporal

Si la partícula NO está en contacto:

$$\mathbf{x}(t + dt) = \mathbf{x}(t) + \mathbf{v}_d dt$$

$$|\mathbf{v}_d| = v_d = v_d^{max} \left[ (r - r_{min}) / (r_{max} - r_{min}) \right]^\beta$$

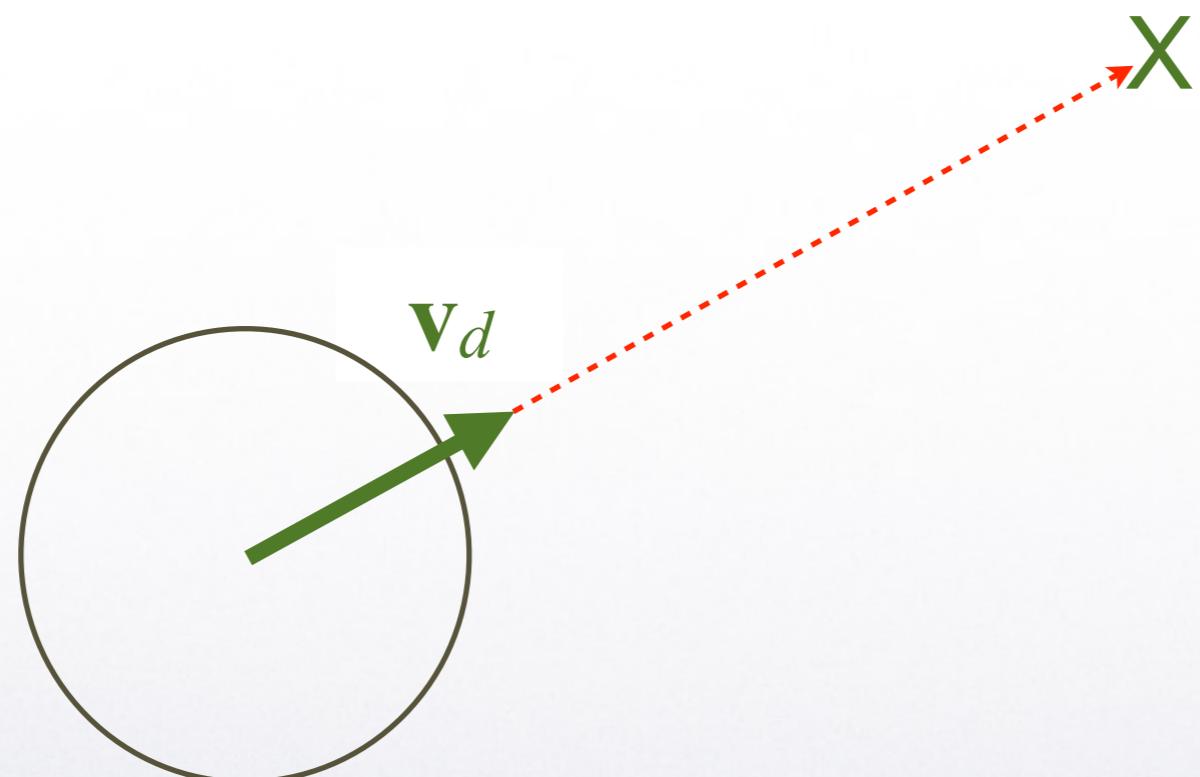
$$r(t + dt) = r(t) + r_{max} / (\tau / \Delta t) \quad (\text{si } r < r_{max})$$

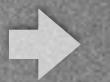


# Modelos Microscópicos

Contractile Particle Model

(Desired Target)





# Modelos Microscópicos

Contractile Particle Model

Evolución Temporal

Si la partícula SI está en contacto:

$$\mathbf{x}(t + dt) = \mathbf{x}(t) + \mathbf{v}_e dt$$

$$r = r_{min}$$

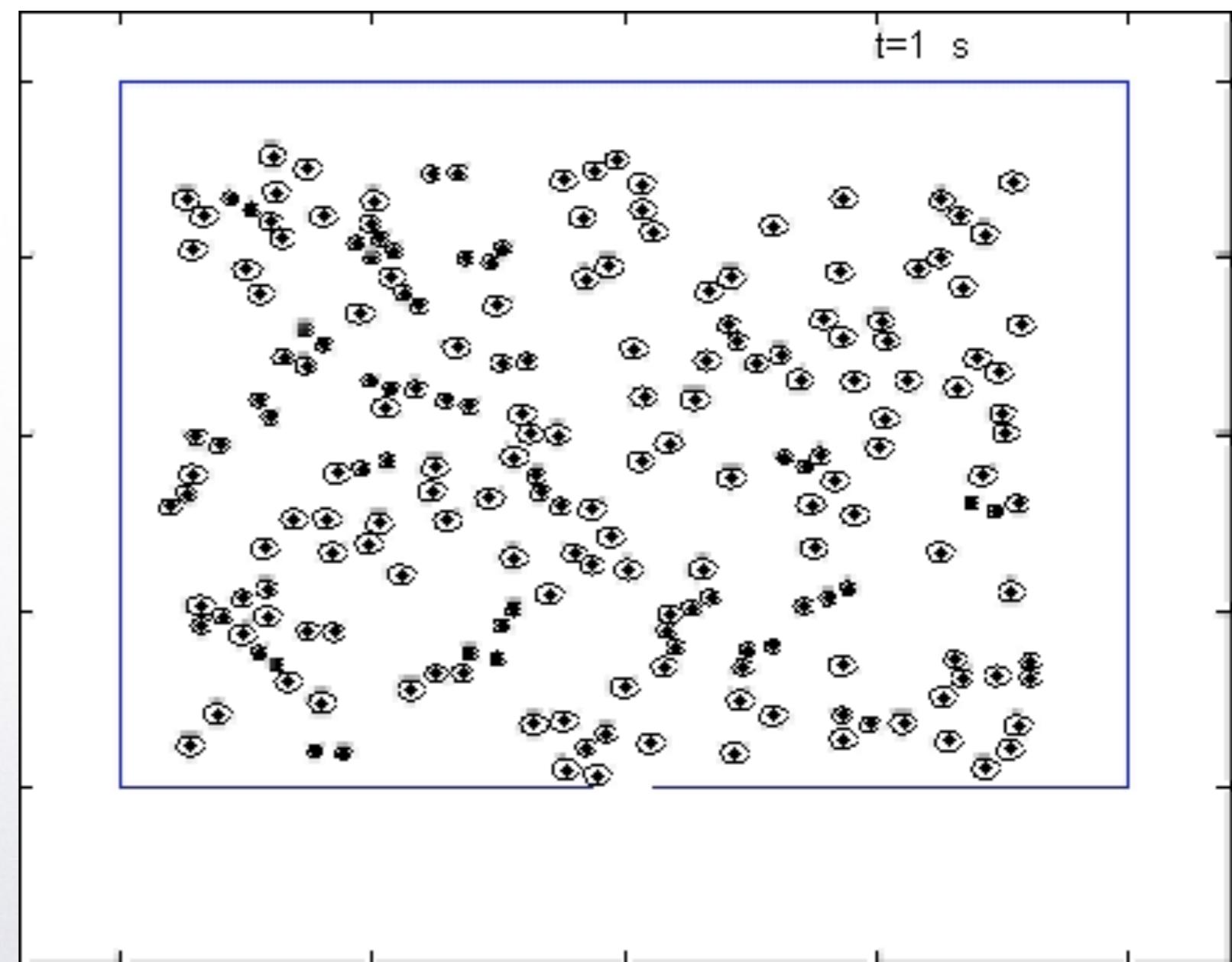
$$|\mathbf{v}_e| = v_e = v_d^{max}$$

# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

Evacuación de un recinto

El modelo reproduce los datos experimentales de Caudal específico

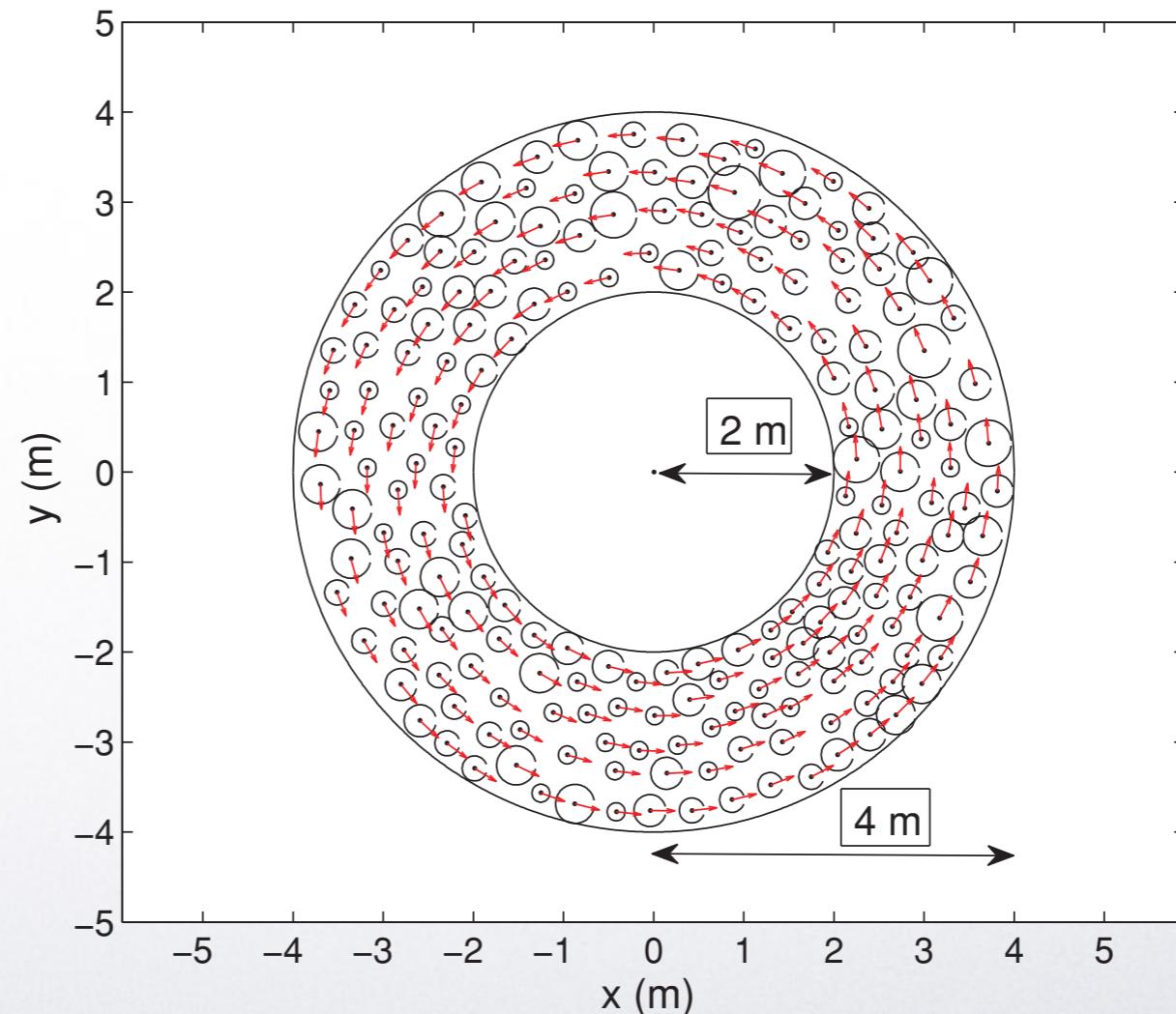


# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

### Pista de Carrera

Variando el Nro. de partículas, se estudian distintas densidades y se mide la velocidad promedio para construir el diagrama fundamental.



# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

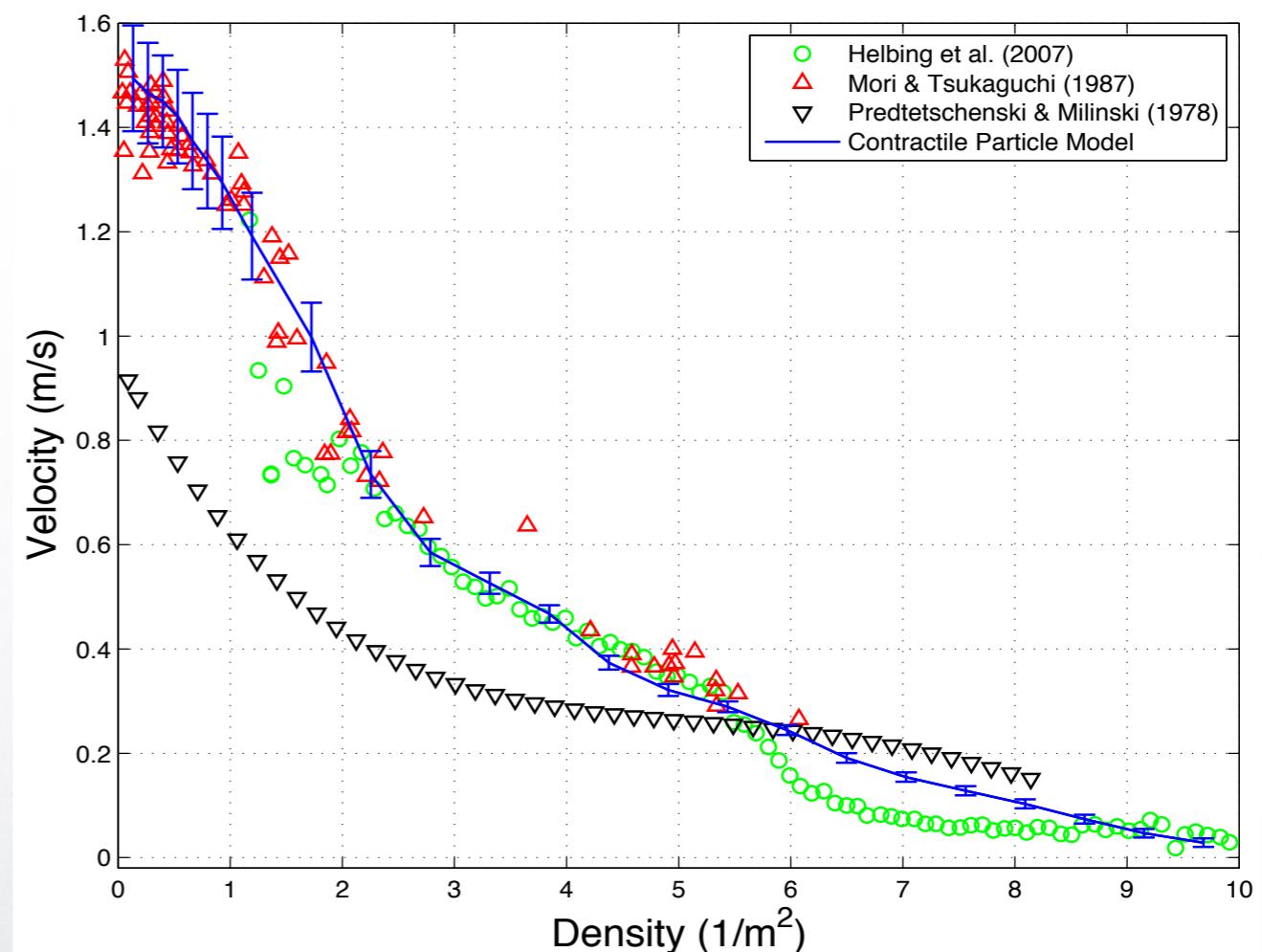
## Diagrama Fundamental

Parámetros:

$$v_d^{max} = 1.55 \text{ m/s}$$

$$r_{min} = 0.15 \text{ m}$$

$$r_{max} = 0.32 \text{ m}$$



# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

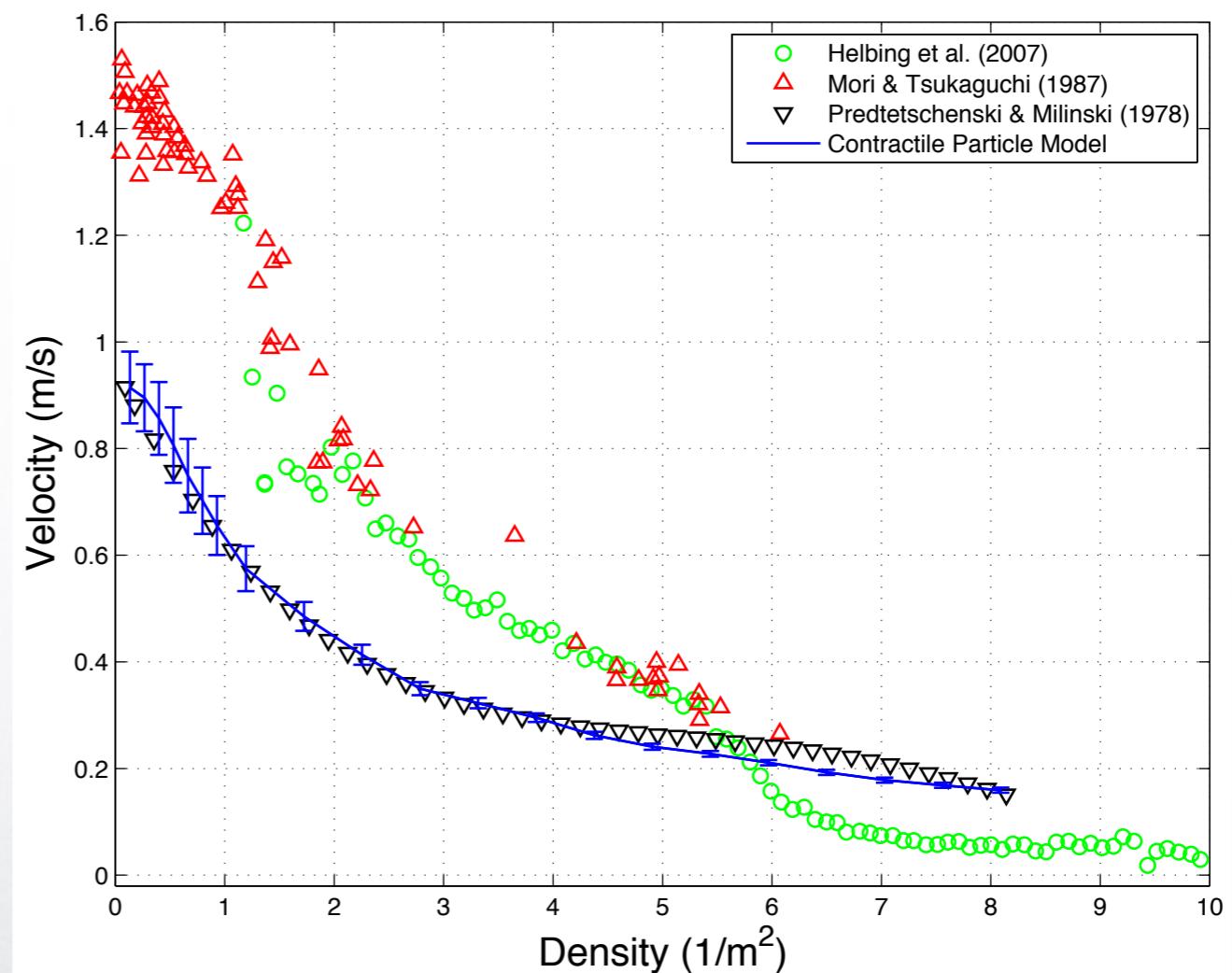
## Diagrama Fundamental

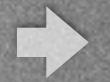
Parámetros:

$$v_d^{max} = 0.95 \text{ m/s}$$

$$r_{min} = 0.10 \text{ m}$$

$$r_{max} = 0.37 \text{ m}$$





# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

### Bondades del CPM

- Reproduce valores experimentales de Caudal Específico ni Diagrama Fundamental.
- Aumenta  $\sim 50X$  la velocidad de cómputo respecto del SFM



# Modelos Microscópicos

- Social Force Model
- Contractile Particle Model

